



DEUTSCHES

PATENTAMT

- (21) Aktenzeichen: 195 14 500.3  
(22) Anmeldetag: 19. 4. 95  
(43) Offenlegungstag: 24. 10. 96

DE 195 14 500 A 1

BEST AVAILABLE COPY

## (71) Anmelder:

Andresen, Peter L., Prof. Dr., 37127 Dransfeld, DE

## (72) Erfinder:

gleich Anmelder

## (56) Entgegenhaltungen:

GB-B Heywood, J. B.: Internal Combustion Engine  
Fundamentals Mc-Gaw-Hill, 1988, S. 37-40;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

## (54) Fremdgezündete Brennkraftmaschine mit geschichteter Ladung und regelbarer Turbulenzerzeugung

- (57) Diese Erfindung bezieht sich auf die fremdgezündete Brennkraftmaschine mit eventuell nachgeschaltetem Katalysator. Einerseits wird ein neues Konzept vorgeschlagen und andererseits läßt sich diese Erfindung in bestimmten Ausformungen auf bestehende Ottomotoren anwenden. Es ist die Aufgabe, die Schadstoffemissionen zu senken und/oder den Wirkungsgrad zu erhöhen. Dies wird erfindungsgemäß durch die Kombination eines Schichtladungskonzeptes mit einer regelbaren, effizienten Turbulenzerzeugung im Brennraum (insb. während der Verbrennung) erreicht. Beides wird erfindungsgemäß durch die Einblasung von Gasen, vorzugsweise desselben Gases, in den Brennraum, vorzugsweise in die Nähe der Zündkerze (oder sogar über die Zündkerze) erreicht. Beides erfolgt vorzugsweise gepulst und zeitlich und mengenmäßig regelbar. Dadurch werden zum einen gewisse Nachteile bekannter Schichtladungskonzepte vermieden, mit dem Ziel eine geeignete Schichtladung für jeden Betriebspunkt und auch bei dynamischer Änderung desselben bereitzustellen. Insbesondere auch durch die Regelbarkeit der Turbulenzerzeugung ergeben sich effiziente Einflußmöglichkeiten auf Gemischbildung und Verbrennung, die in Abhängigkeit vom Betriebspunkt (z. B. Kaltstart) angewandt werden können. Verschiedene besonders einfache Ausformungen werden vorgeschlagen.

DE 195 14 500 A 1

Diese Erfindung bezieht sich auf die fremdgezündete Brennkraftmaschine, welche hier auch als Ottomotor bezeichnet wird. Einerseits wird ein neues Konzept für Ottomotoren vorgeschlagen und andererseits läßt sich diese Erfindung in bestimmten Ausformungen auf bestehende Ottomotoren anwenden, so daß diese verbessert betrieben werden können. (Letzteres kann als vorteilhaft im Bezug auf die Anwendbarkeit dieser Erfindung angesehen werden.)

Heutige Ottomotoren erzeugen nach wie vor hohe Rohemissionen und werden in der Regel weitab vom optimalen Wirkungsgrad betrieben. Dies gilt insb. für bestimmte Betriebspunkte, wie z. B. den Kaltstart. Diese Erfindung richtet sich primär auf die Senkung der Rohemissionen und/oder die Erhöhung des Wirkungsgrads.

Zur Senkung der Emissionen wird heute häufig ein nachgeschalteter Katalysator eingesetzt. In einer bestimmten Ausformung dieser Erfindung wird auch ein solcher Katalysator im Konzept berücksichtigt, mit dem Ziel, dessen Effizienz zu erhöhen und/oder dessen Kosten zu senken.

Daneben ergeben sich durch diese Erfindung weitere untergeordnete Vorteile, die im Text genannt werden.

Die Senkung der Rohemissionen und die Erhöhung des Wirkungsgrads wird erfindungsgemäß durch die Kombination eines Schichtladungskonzeptes mit einer regelbaren, effizienten Turbulenzerzeugung im Brennraum (insb. während der Verbrennung) erreicht.

Mit einer Schichtladung (stratified charge) wird angestrebt, den größten Teil der Ladung Kraftstoff-arm (mager) gestalten zu können und nur an der Zündquelle ein für die Zündung (und frühe Entflammungsphase) ausreichend fettes Gemisch zur Verfügung zu stellen. Es ist bekannt, daß dadurch die Rohemissionen (insb. CO und NOx) erheblich reduziert werden können, ähnlich wie auch beim Magermotor mit homogener Ladung [Heywood, S. 37—40]. Es ist auch bekannt, daß dadurch der Wirkungsgrad aus verschiedenen Gründen gesteigert werden kann, insb. im Teillastbereich (durch eine Diesel-ähnliche Regelung der Leistung über die zugeführte Kraftstoffmenge). Weiterhin verwendeten Kraftstofftyp erreicht und die Neigung zu klopfender Verbrennung kann durch späte Zugabe von Kraftstoff reduziert werden.

Öbliche Schichtladungskonzepte sind z. B. der Vorkammermotor oder mittels Direkteinspritzung von Kraftstoff in den Brennraum. Der Vorkammermotor weist bekanntlich einen zerklüfteten Brennraum auf und hat daher gesteigerte HC-Emissionen. Die Direkteinspritzung von Kraftstoff zur Schichtladungserzeugung ist nachteilig bei häufigem Wechsel von Last und Drehzahl wie im realistischen Betrieb. Es ist eine weitergehende Aufgabe dieser Erfindung, diese Nachteile der bisherigen Schichtladungskonzepte zu vermeiden und bei jedem Betriebspunkt und beim Wechsel desselben eine geeignete Schichtladung zur Verfügung zu stellen. Vorzugsweise wird daher die Schichtladungserzeugung im Rahmen dieser Erfindung steuerbar oder regelbar ausgeformt. Dies ist ein besonderer Vorteil gegenüber anderen Arten der Schichtladungserzeugung, wie z. B. durch bestimmte Brennraumformen, die nicht oder nicht genügend regelbar und daher nicht ausreichend an den Betriebspunkt anpaßbar, sondern sogar oft stark von diesem abhängig sind.

Es ist auch eine Aufgabe dieser Erfindung, keine spezielle Brennraumform zu benötigen, sondern im Prinzip

an nahezu jede Brennraumform adaptierbar zu sein. Es ist ein besonderer Vorteil, daß dadurch auch besonders einfache (unzerklüftete) Brennraumformen in Frage kommen, was einerseits die Kosten und andererseits die HC-Emissionen senken kann.

Diese Freiheit im Bezug auf die verwendete Brennraumform (und die Form des Einlaßkanals etc.) wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß der Gemischbildungsvorgang und der Verbrennungsablauf, die gewöhnlich durch bestimmte Formen von Brennraum, Ventilen und Einlaßkanal etc. gezielt beeinflusst werden, hier durch die Einblasung von Gasen über einen weiten Bereich beeinflussbar werden. Zum Beispiel können gewisse bekannte Maßnahmen zur Erzeugung von Turbulenz wie z. B. Quetschflächen, gewundene Einlaßkanäle oder spezielle Kolbenmulden entfallen, da durch die Einblasung alleine die gewünschte Turbulenz erzeugt werden kann. Häufig werden auch Maßnahmen zur gezielten Anregung gewisser Ladungsbewegungen (z. B. Drall) ergriffen. Auch dies kann in einer Ausformung der Erfindung durch Einblasen erreicht werden, indem die Einblasung an einer geeigneten Brennraumstelle mit geeigneter Richtung angebracht und zeitlich entsprechend gesteuert wird.

Es wird hier der Weg eines Schichtladungskonzeptes mit zwei Zuführungsorganen beschritten, d. h. in der Regel wird der weitaus größte Teil des Kraftstoffs dem Brennraum auf dem "normalen" Wege, d. h. über das (oder die) Einlaßventil(e) oder durch Es wird hier der Weg eines Schichtladungskonzeptes mit zwei Zuführungsorganen beschritten, d. h. in der Regel wird der weitaus größte Teil des Kraftstoffs dem Brennraum auf dem "normalen" Wege, d. h. über das (oder die) Einlaßventil(e) oder durch Einblasung zugeführt. Das erste, hier nicht näher zu spezifizierende Organ stellt den in der Regel stark abgemagerten Großteil der Ladung bereit.

Schichtladungskonzepte als solche haben weiterhin gewöhnlich den Nachteil, daß der abgemagerte Großteil der Ladung verlangsamt durchbrennt, ähnlich wie beim Magermotor mit homogener Ladung oder auch bei Abgasrückführung. Dadurch steigen gewöhnlich die HC-Emissionen (unverbrannte Kohlenwasserstoffe), der Wirkungsgrad (thermische) wird beeinträchtigt und der Motor neigt zu zyklischen Leistungsschwankungen. Es ist auch ein weitergehender Vorteil dieser Erfindung, diese Probleme von Schichtladungs- und Magerkonzepten lösen zu können. Ein besonderer Bedarf an erhöhter Durchbrenngeschwindigkeit besteht beim Kaltstart und in der Warmlaufphase.

Dies wird erfindungsgemäß durch die Erzeugung von Turbulenz im Brennraum (insb. während der Verbrennung) erreicht. Es ist bekannt, daß Turbulenz eine stark erhöhende Wirkung auf die Durchbrenngeschwindigkeit auch bei mageren oder mit Abgas versetzten Gemischen hat.

Die Erzeugung der Turbulenz erfolgt vorzugsweise ebenfalls regelbar, d. h. nicht nur in ihrer Stärke über einen weiten Bereich einstellbar, sondern auch gezielt zum richtigen Zeitpunkt während des Arbeitsspiels. So kann z. B. beim Kaltstart eine wesentlich stärkere Turbulenz im Brennraum erzeugt werden als im warmen Betrieb.

Die Regelbarkeit des Zeitpunktes der Turbulenzerzeugung kann neben der Erhöhung der Durchbrenngeschwindigkeit zum Erreichen weiterer Vorteile eingesetzt werden: Z.B. kann mit demselben Turbulenzerzeuger während Einlaß- und/oder Kompressionsphase die

Gemischaufbereitung verbessert werden oder es können während der späten Expansions- und/oder der Auslaßphase die chemischen Nachreaktionen im Brennraum gefördert werden (was z. B. zur weiteren Senkung der HC-Emissionen dienen kann).

Schichtladung und Turbulenzerzeugung werden erfindungsgemäß durch die direkte Einblasung von Gasen (vorzugsweise desselben Gases) in den Brennraum erzeugt. Eines der Gase, das in der Nähe der Zündquelle (in der Regel Zündkerze) eingeblasen wird, enthält Kraftstoff als Dampf oder in z. T. noch flüssiger Form, so daß die Ladung die gewünschte Schichtung bekommt. (Als Zündquelle wird hier der Ort — oder die Orte — im Brennraum bezeichnet, wo die Zündung, z. B. durch einen Funken, gezielt ausgelöst wird). Vorzugsweise erfolgt die Einblasung der Gase durch ein und dieselbe Öffnung, die z. B. in eine speziell zu modifizierende Zündquelle zu integrieren ist. Dadurch kann dieses Verfahren an bestehende Ottomotoren adaptiert werden.

Die Einblasung von Kraftstoff-enthaltendem Gas zu einem im Prinzip frei wählbaren Zeitpunkt direkt in die Nähe der Zündquelle hat gegenüber anderen Schichtladungskonzepten auch den Vorteil, daß der fettere Teil an der Zündquelle auf diesen Ort bis zur Zündung konzentriert bleibt, also im wesentlichen nicht auseinanderläuft, und daher der fettere Teil auf einen minimalen Bruchteil der Gesamtladung reduziert werden kann. Das Auseinanderlaufen des fetteren Teils ist bekanntlich ein Problem vieler anderer Schichtladungskonzepte.

Die Einblasung der Gase erfolgt vorzugsweise gepulst, d. h. während bestimmter Zeitabschnitte im Laufe des Arbeitsspiels des Ottomotors. Die oben genannte Regelbarkeit von Zeitpunkt und Menge der zugegebenen Gase ist z. B. durch die Verwendung von elektronisch ansteuerbaren Magnetventilen zu bewerkstelligen.

Es ist an sich bekannt, daß Turbulenz im Brennraum sehr effektiv durch einen eingeblasenen Gasfreistrahler erzeugt werden kann. Der gleiche Anmelder schlägt in P 44 38 735.0 die Einblasung eines Gases zur Erhöhung der Turbulenz und Ladungsbewegung beim Kaltstart eines Ottomotors vor. Diese Art der Turbulenzerzeugung hat gegenüber anderen (z. B. spezielle Ausformungen von Einlaßkanal, Ventilen, Kolbenmulden) die Vorteile, daß a) eine starke Turbulenz zum erwünschten Zeitpunkt, d. h. in der Regel kurz vor oder während der Verbrennung, erzeugt werden kann (was durch "externe" Maßnahmen wie z. B. die genannten Ausformungen von Einlaßkanal und Ventilen schwierig ist), und daß b) die Turbulenzerzeugung schnell, d. h. im Prinzip von einem Arbeitszyklus zum nächsten, über einen weiten Bereich reguliert (elektronisch gesteuert oder geregelt) werden kann. Letzteres bedeutet wie bereits erwähnt, daß die Turbulenzerzeugung damit an den jeweiligen Betriebspunkt und die Änderung desselben ("dynamisches Verhalten") angepaßt werden kann, was ein wesentliches Kennzeichen ist.

NOx-Bildung, HC-Freisetzung und Wirkungsgrad hängen bei der ottomotorischen Verbrennung allgemein stark vom jeweiligen Verbrennungsablauf, insb. den dabei auftretenden Drücken und Gastemperaturen in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel, ab. In der Regel steht beim einfachen Ottomotor zur Anpassung des Verbrennungsablaufs an die Eingangsparameter (Last, Drehzahl und auch Motortemperatur insb. beim Kaltstart), die über einen weiten Bereich variieren, nur der

Zündzeitpunkt (seltener variable AGR-Rate oder variable Ventilsteuerzeiten) als freier Parameter zur Verfügung (die mittlere Stöchiometrie wird häufig durch die heute verwendeten Katalysatoren vorgegeben). Daher müssen häufig Kompromisse zwischen den verschiedenen Emissionen und dem Wirkungsgrad eingegangen werden. Durch die Regulierbarkeit der Durchbrennungsgeschwindigkeit (über Turbulenz) und der lokalen Stöchiometrie (Schichtladung) entstehen neue freie Parameter ("Stellglieder"), so daß der Verbrennungsablauf im einzelnen wesentlich besser an die Eingangsparameter angepaßt werden kann. Zum Beispiel wird bei magerem Betrieb ein genügend frühzeitiges Durchbrennen (z. B. zur Vermeidung von hohen HC-Emissionen) durch Vorverlegen des Zündzeitpunkts erreicht, wobei aber der Wirkungsgrad sinkt, da ein Teil der chemischen Energie vor dem oberen Totpunkt umgesetzt wird. Dies kann z. B. durch die Erfindung vermieden werden, indem der Zündzeitpunkt nicht vorverlegt wird und ein hinreichend schnelles Durchbrennen entweder durch Turbulenzsteigerung oder durch ein Verkürzen der Entflammungsphase durch Schichtladung herbeigeführt wird.

Bekanntlich kann eine verminderte Neigung des Motors zu klopfender Verbrennung z. B. über ein erhöhtes Kompressionsverhältnis zu größerem Wirkungsgrad ausgenutzt werden. Die Neigung zu klopfender Verbrennung kann erfindungsgemäß wie folgt reduziert werden: Der Großteil der Ladung ist mehr oder weniger stark abgemagert und neigt deshalb zunächst nicht zum Klopfen. Bei dem wesentlich kleineren, fetteren Teil der Ladung kann explosionsartige Verbrennung u. U. toleriert werden. Einen starken Einfluß auf die Klopfneigung hat dabei der Turbulenzgrad, der hier variabel eingestellt werden kann. Klopfen, insb. in der frühen Verbrennungsphase, kann auch dadurch vermieden werden, daß die Erhöhung des Turbulenzgrads durch Gas-Einblasung erst zum geeigneten Zeitpunkt während der Verbrennung eingesetzt wird. Die Regelbarkeit des Turbulenzgrads ermöglicht es, den Motor in einem weiten Betriebsbereich nahe an der Klopfgrenze zu betreiben und auch dadurch den Wirkungsgrad zu optimieren.

Es kann auch sinnvoll sein, insb. die frühe Flammkernentwicklung zu beschleunigen, indem die fette Verbrennung in der frühen Phase zusätzlich gezielt durch Turbulenz gefördert wird.

Ausformungen: Ein besonderer Vorteil dieser Erfindung besteht darin, daß zwei wichtige verbrennungsrelevante Parameter, nämlich Turbulenz im Brennraum und lokale Stöchiometrie, über eine Öffnung in der Zündkerze von außen einstellbar werden. Zur Turbulenzerzeugung während der Kompressions- und/oder Verbrennungsphase ist Gas mit einem Hinterdruck von einigen bar nötig. (Kraftstoff muß ebenfalls mit höherem Druck zur Verfügung stehen, um eine Einblasung in der Kompressionsphase zu ermöglichen.) Bei Verwendung von flüssigem Kraftstoff ist zur Erzeugung einer im Endzustand (d. h. kurz vor der Zündung) im wesentlichen dampfförmigen Kraftstoffwolke an der Zündkerze entweder Kraftstoffdampf dem Haupt-Gemischbildner (Vergaser, Einspritzung ins Saugrohr) — soweit vorhanden — zu entziehen oder ein Neben-Gemischbildner zur Versorgung der Einblasung vorzusehen oder ein (miniaturisierter) dezentraler Gemischbildner in der Nähe jeder Zündkerze zu realisieren. Letztere Möglichkeit ist vorteilhaft, weil dabei der zur Turbulenzerzeugung verwendete Gasstrom auch zur Gemischbildung

ausgenutzt werden kann und daher der technische Aufwand besonders gering ist. Im einfachsten Falle wird dem Gas-führenden Rohr zur Turbulenzerzeugung flüssiger Kraftstoff mittels eines T-Stückes (5) zugeführt, wie in Abb. 1 dargestellt. Die in Abb. 1 dargestellte modifizierte Zündkerze wird wie üblich in einen Ottomotor eingesetzt. (Es wurde auf die Darstellung eines vollständigen Ottomotors verzichtet, weil zunächst keine besonderen Anforderungen an Brennraumform und sonstige Geometrien und Techniken bestehen.) Auch bei Verwendung eines flüssigen Kraftstoffs wird der Kraftstoffstrom (2) ähnlich wie im Vergaser durch den Gasstrom (1) "mitgerissen", zerstäubt, bildet einen Wandfilm im Gas-führenden Rohr und verdampft (mindestens teilweise) etwas weiter stromabwärts. Weitere Zerstäubung, Verdampfung und Vermischung mit dem Gas wird durch die Freistrahlexpansion in den Brennraum erreicht: Insb. bei Verwendung eines Überschallstrahls treten hohe Relativgeschwindigkeiten auf (insb. in den Randbereichen der Expansion), die die Gemischbildung fördern. Um die Eigenschaften dieses "dezentralen Gemischbildners" weiter zu verbessern, kann der Zusammenführung von Gas und flüssigem Kraftstoff weitere Kennzeichen eines einfachen Vergasers [Heywood, S. 282ff] verliehen werden, wie es in Abb. 2 angedeutet ist.

Die Magnetventile (3) und (4) steuern die Pulslängen von Gasstrom (1) zur Turbulenzerzeugung und Kraftstoffzuführung (2); sie stellen in dieser Ausformung wichtige, elektronisch regelbare Stellglieder am Motor dar, deren Rolle bereits ausführlich dargestellt wurde. (Das Totvolumen zwischen der Öffnung der Zündkerze zum Brennraum und den Magnetventilen ist möglichst klein zu gestalten, da sonst erfahrungsgemäß die Gefahr besteht, daß die Zündung durch die Kompression "ausgeblasen" wird. Alternativ wäre zur Vermeidung dieses Effektes ein Rückschlagventil direkt hinter der Zündkerze, also vor dem T-Stück, einzusetzen.) Wie Abb. 1 zeigt ist die Realisierung dieser Erfindung im Prinzip einfach, was ein besonderer Vorteil ist.

Wie bereits erwähnt kann Luft als eingeblasenes Gas sowohl für die Turbulenzerzeugung als auch für die Schichtladung verwendet werden. Daneben ist z. B. auch die Verwendung von Abgas möglich, insb. zur Turbulenzerzeugung. Wenn Abgas ebenfalls zum Transport des Kraftstoffs in den Brennraum verwendet wird, ist zu beachten, daß dadurch der Abgasgehalt an der Zündkerze zum Zündzeitpunkt ansteigt, was sich im allgemeinen negativ auf die Zündfähigkeit des Gemisches auswirkt. Aufgrund der starken Vermischung des Freistrahls mit der umgebenen (mageren) Ladung ist jedoch u. U. dennoch ein zündfähiges Gemisch an der Zündkerze zu erreichen. (Es ist auch möglich, die Energie des heißen Abgases unter hohem Druck zum Pumpen von Kraftstoff-Luft-Gemisch zu verwenden.) Die Verwendung von Abgas, wenigstens zur Turbulenzerzeugung, wäre vorteilhaft, da auf diese Weise u. U. ein Kompressor (o. ä.) zur Bereitstellung eines genügenden Gas-Hinterdrucks eingespart werden könnte: Abgas mit hohem Druck (z. B. 10 bar) kann dem Motor während der Expansionsphase (nach weitgehend abgeschlossener Verbrennung) entzogen werden (z. B. über eine der Öffnungen, die zur Einblasung verwendet werden). Dabei wird dem Zylinder während der Expansionsphase Energie entzogen, so daß die geleistete mechanische Arbeit sinkt. Dies kann tolerabel oder sogar erwünscht sein, insb. beim Kaltstart bzw. in der Warmlaufphase. Erfahrungsgemäß zeigt ein modifizierter Viertakt-Motor aufgrund der Einblasung eine erhebliche Wirkungsgrad-

steigerung (gemessen: etwa Faktor 2) in der Warmlaufphase, so daß u. U. mehr mechanische Arbeit freigesetzt würde, als benötigt wird. Insbesondere beim Einsatz dieser Erfindung als reine Starthilfe ist daher die Verwendung von Abgas unter hohem Druck zur Einblasung vorteilhaft. Folgende Realisierungen wären bei (Viertakt-) Mehrzylindermotoren denkbar: Im Expansions-takt (z. B. 60–900 KW) wird einem Zylinder Gas unter hohem Druck entnommen, das in einen anderen Zylinder, der sich gerade im Kompressionstakt befindet, eingeblasen wird. Auf diese Weise würde die Kaltstart-Hilfe beim Viertakt-Vierzylinder-Motor in einer einfachen Form wie in Abb. 3 dargestellt aussehen. Es wird jeweils dasjenige der Magnetventile (4) zwischen zwei Zylindern geöffnet, die sich im Expansionsstakt und Kompressionstakt befinden. (Beim Sechszylinder-Viertaktmotor ist eine Realisierung auf Basis des 120°-Versatzes zwischen den Zylindern durch geeignete Wahl der Ansteuerzeiten u. U. auch möglich.) Die Magnetventile (3) dienen zum zeitlich definierten Einleiten von Kraftstoffdampf, in diesem Fall durch die Zündkerzen. Der Kraftstoffdampf muß dabei unter entsprechend hohem Druck zur Verfügung gestellt werden (6).

Es wäre sinnvoll, diese Konfiguration durch einen Druckspeicher zu ergänzen, denn dadurch würden a) die Zeitpunkte für Zu- und Abführung des Gases zum/vom Zylinder unabhängig voneinander eingestellt werden können, b) das Abkühlen des abgeführten Gases besser gewährleistet werden (um frühzeitige Zündungen während der Kompressionsphase zu vermeiden), c) zyklische Schwankungen vermieden werden (die sonst dadurch entstehen könnten, daß die Gas-Einblasung vom jeweiligen Verbrennungsablauf in einem anderen Zylinder abhängt), und d) Verfügbarkeit von Gas unter hohem Druck vom ersten Zyklus an gewährleistet. Die Abb. 4 zeigt eine Konfiguration mit Druckspeicher (7), die aber ansonsten der Konfiguration in Abb. 3 entspricht. Die in der Abb. 4 dargestellten Magnetventile (4) werden jeweils im Kompressions- und Expansions-takt geöffnet.

Abb. 5 zeigt eine weitere Konfiguration, die sich von Abb. 4 dadurch unterscheidet, daß Turbulenzerzeugung und Kraftstoffzugabe wie oben dargestellt über die Zündkerze erfolgen. Hier erfolgt die Kraftstoffverdampfung — sofern flüssiger Kraftstoff verwendet wird — wie anhand von Abb. 1&2 dargelegt. Dementsprechend muß hier flüssiger Kraftstoff unter genügend hohem Druck zur Verfügung gestellt werden (8).

Das Einsparen eines Kompressors läßt sich in analoger Weise auch erreichen, indem dem Zylinder in der späten Kompressionsphase Gas unter hohem Druck entzogen wird, das dann in der früheren Kompressionsphase (oder auch späteren Einlaßphase beim Viertaktmotor) zugeführt wird. Dies hat gegenüber der Verwendung von Abgas zum Einblasen den Vorteil, daß der Abgasanteil an der Zündkerze nicht erhöht wird, so daß auch die Turbulenzerzeugung gefahrlos über die modifizierte Zündkerze erfolgen kann. Es sind Konfigurationen wie in Abb. 5&6 (vorzugsweise Abb. 6) möglich. Auch eine Konfiguration ohne Druckspeicher (7), ähnlich wie in Abb. 3, ist u. U. möglich: Z.B. kann beim Sechszylinder-Viertaktmotor der 120°-Versatz im Arbeitsspiel der Zylinder als Zeitunterschied zwischen Zuführung in früher Kompressionsphase und Abführung in später Kompressionsphase ausgenutzt werden.

Es sei auch bemerkt, daß auch durch die Abführung von Gas aus dem Zylinder selbst Turbulenz in selbigem erzeugt werden kann.

(Offenbar wird die freie Wählbarkeit des Einblaszeitpunktes durch diese Ausformungen eingeschränkt. Es ist dabei aber zu beachten, daß ein spätes Einblasen in der Kompressionsphase in der Regel sinnvoll ist, damit die Turbulenz bis zur Verbrennung nicht zu stark abgeklungen ist. Die Zeitkonstante des Abklingens der Turbulenz hängt dabei mit dem typischen Durchmesser der größten angeregten Wirbel zusammen, da die Wirbel im allgemeinen kaskadenartig zerfallen. Deshalb kann es sinnvoll sein, gezielt große Wirbel, d. h. im Extremfall kollektive Ladungsbewegungen, anzuregen. Die Größe der Wirbel läßt sich bekanntlich z. B. durch die Größe der Einblasungsöffnung erhöhen.)

Ein eventuell dem Ottomotor nachgeschalteter Katalysator zur Abgasnachbehandlung wird erfindungsgemäß wie folgt in das Konzept mit einbezogen: Auf einen 3Wege-Katalysator kann wegen der erheblich (z. B. Faktor 10) reduzierten NOx-Emissionen aufgrund einer im Mittel sehr mageren Verbrennung (z. B.  $\lambda \geq 1.6$ ) u. U. verzichtet werden. Statt dessen ist z. B. ein billigerer Oxidationskatalysator zur Beseitigung der übrigen HC- und CO-Emissionen einzusetzen.

Sollen die NOx-Emissionen weiter reduziert werden, so muß bei Verwendung eines heutigen 3Wege-Katalysators eine genügende Menge CO vom Motor freigesetzt werden. Eine "künstlich" herbeigeführte Erhöhung der CO-Rohemissionen kann z. B. dadurch geschehen, daß ein gewisser Bruchteil der Arbeitszyklen fett(er) betrieben wird, denn die CO-Produktion ist in erster Linie eine Frage der Stöchiometrie. (Alternativ könnte bei einem Mehrzylindermotor einer der Zylinder fetter betrieben werden. Um zyklische Leistungsschwankungen aufgrund dieser Stöchiometrieunterschiede zwischen Zyklen bzw. Zylindern zu vermeiden, könnten diese durch Anpassen von Zündzeitpunkt und/oder Turbulenzerzeugung kompensiert werden, so daß jeweils die gleiche mechanische Arbeit freigesetzt wird.) Insgesamt könnte damit wieder das gewünschte Gleichgewicht zwischen NO- und CO-Rohemissionen zum Betreiben eines 3WegeKatalysators erreicht werden, aber auf einem weitaus niedrigeren Niveau im Vergleich mit dem heute üblichen Betrieb bei  $\lambda = 1.0$ . Wegen des niedrigeren Niveaus an Rohemissionen könnte der 3Wege-Katalysator kleiner gebaut werden, wodurch Kosten gesenkt werden könnten.

Ein besonderes Problem stellt heute das schnelle Aufheizen des Katalysators beim Kaltstart dar. Dazu könnte im Rahmen dieser Erfindung die beim Kaltstart und der Warmlaufphase freigesetzte Mehrarbeit des Motors aufgrund eines erheblich verbesserten Wirkungsgrads (gemessen etwa Faktor 2), bzw. das wesentlich höhere Zylinderdruckniveau im Expansionsstakt, ausgenutzt werden. Die freiwerdende mechanische Mehrarbeit des Motors könnte zum einen elektrisch (z. B. durch "rückwärts"-Betreiben des Anlassermotors) dem Katalysator zum schnellen Aufheizen zugeführt werden. Zum anderen wäre die Aufheizung des Katalysators auch durch heißes Abgas denkbar, das wie oben bereits beschrieben während des Expansionsstaktes den Zylindern entnommen wird. Diese Maßnahme könnte mit der oben beschriebenen Entnahme von heißem Abgas gekoppelt durchgeführt werden. Dies hieße z. B., daß ein Teil des Gases zum o.g. Druckbehälter (7) und ein anderer Teil zum Katalysator geleitet würde, oder daß das Gas über den Katalysator zum Druckbehälter (7) geleitet würde.

Fundstellen: [Heywood] Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1988.

1. Verfahren zur Verbesserung des Wirkungsgrades und des Emissionsverhaltens einer Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, daß durch Einblasen eines Gases oder eines Gemisches aus Gas und Kraftstoff in den Brennraum sowohl eine Schichtladung als auch eine gegenüber dem Normalbetrieb erhöhte Turbulenz des Kraftstoffgemisches erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einblasung der Gase gepulst erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einblasung der Gase in Abhängigkeit vom Betriebspunkt des Motors gesteuert oder geregelt erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Turbulenz-erzeugende Gas und das Kraftstoff-enthaltende Gas durch dieselbe Öffnung in der Nähe der Zündquelle in den Brennraum eingeblasen werden.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1—2, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung(en) zur Einblasung der Gase in die Zündquelle (z. B. Zündkerze) integriert ist (sind).
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Turbulenz-erzeugendes Gas und/oder als Kraftstoff-enthaltendes Gas Luft und/oder Abgas und/oder Kraftstoffdampf verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zur Turbulenzerzeugung eingeblasene Gas (z. T.) auch Kraftstoff enthält und damit auch zur Erzeugung der Schichtladung verwendet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zur Turbulenzerzeugung eingeblasene Gas (z. T.) auch zur Verdampfung eines flüssigen Kraftstoffs und damit auch zur Erzeugung der Schichtladung verwendet wird, indem z. B. der flüssige Kraftstoff dem Gasstrom zugeführt wird (ähnlich wie im Vergaser) und/oder der flüssige Kraftstoff durch die Expansion eines Gas/Kraftstoff-Gemisches in den Brennraum hinein verdampft.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zur Turbulenzerzeugung und/oder Zuführung von Kraftstoff verwendete Gas unter hohem Druck zuvor demselben oder bei Mehrzylindermotoren einem anderen Zylinder während der Kompressions- oder Expansionsphase entzogen wurde.
10. Verfahren nach den Ansprüchen 1 u. 9, dadurch gekennzeichnet, daß das in der Kompressions- oder Expansionsphase demselben oder einem anderen Zylinder entnommene Gas in einem Druckspeicher (7) zwischengespeichert wird.
11. Verfahren nach den Ansprüchen 1 u. 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Entnahme des Gases aus demselben oder einem anderen Zylinder eine der Öffnungen (und Organe) zur Gas-Einblasung verwendet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Kaltstart/der Warmlaufphase des Motors mehr Hochdruckarbeit erzeugt wird, als in Form von mechanischer Arbeit benötigt wird und die Mehrarbeit zum schnellen Aufheizen des

9  
nachgeschalteten Katalysators eingesetzt wird.  
13. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 12, da-  
durch gekennzeichnet, daß ein Teil der Hochdruck-  
arbeit des Motors über einen Generator elektrisch  
oder in Form von heißem Gas, das im Expansions-  
takt dem Brennraum entzogen wurde (z. B. über  
eine der Öffnungen, die zum Einblasen der Gase  
verwendet werden), dem Katalysator zum schnel-  
len Aufheizen zugeführt wird.

14. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 8, da-  
durch gekennzeichnet, daß durch die geeignete  
Einstellung von Stöchiometrie, Turbulenz und  
Zündzeitpunkt und dadurch ermöglichtes unter-  
schiedliches Betreiben eines gewissen Bruchteils  
der Arbeitszyklen und/oder bei Mehrzylindermo-  
toren der Zylinder gewisse Komponenten der Ro-  
hemissionen im für einen bestimmten Katalysator  
geeigneten Verhältnis, insb. NOx im Verhältnis zu  
CO, freigesetzt werden.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

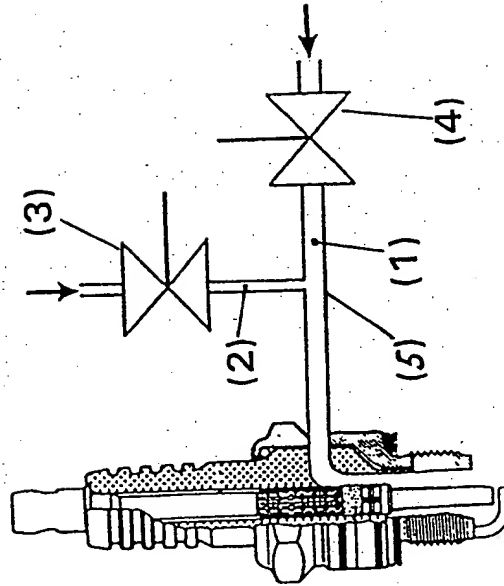


Abb. 1



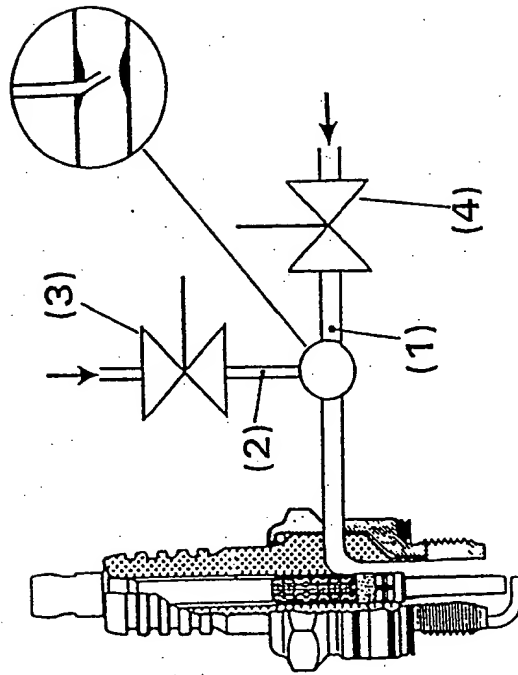


Abb. 2

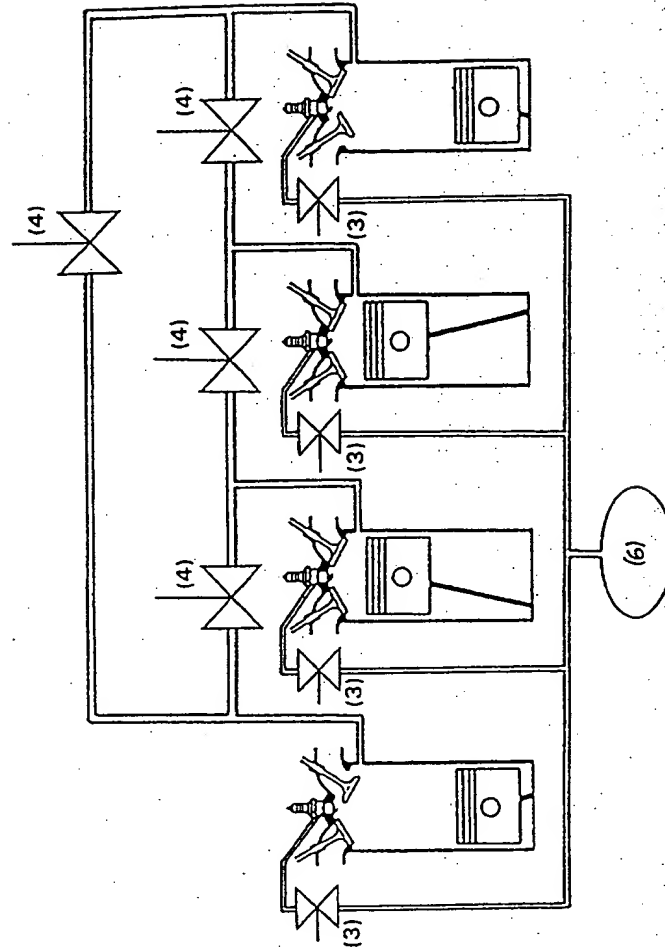


Abb. 3

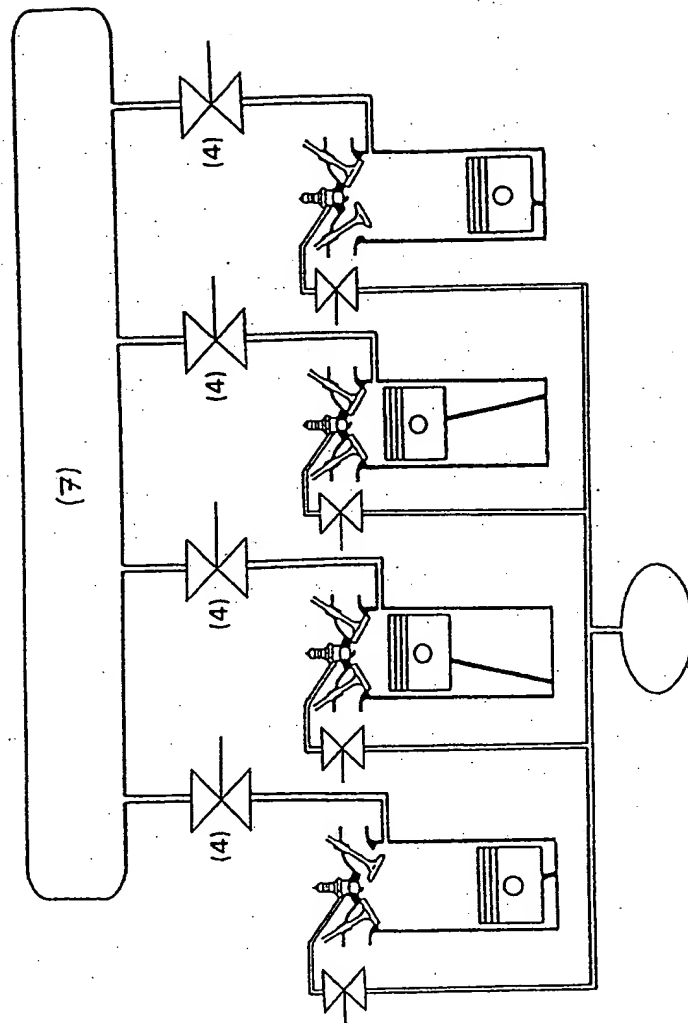


Abb. 4

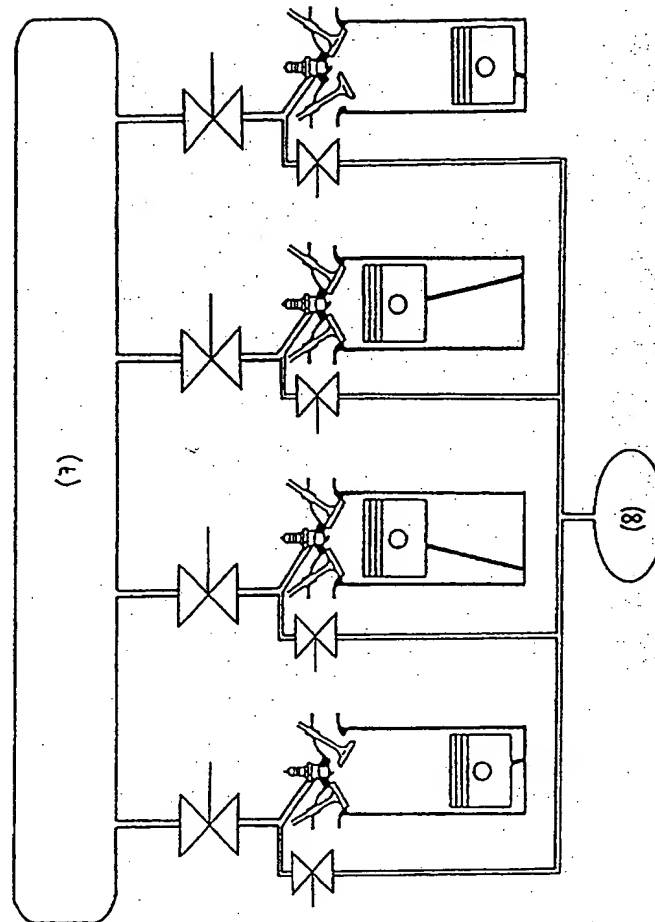


Abb. 5

**Laid-Open Publication****DE 195 14 500 A1****Spark-Ignition Internal Combustion Engine with Stratified Charge and  
Adjustable Turbulence Production**

5

This invention relates to the spark-ignition internal combustion engine, possibly with a downstream catalytic converter. On the one hand a new concept is proposed, and on the other hand this invention can be used in certain  
10 embodiments with existing Otto engines. The object is to reduce pollutant emissions and/or to increase the degree of efficiency. This is achieved according to the invention by the combination of a stratified charge concept with adjustable, efficient turbulence production in the combustion chamber (in particular during combustion). Both are achieved according to the invention by  
15 injecting gases, preferably the same gas, into the combustion chamber, preferably near to the spark plug (or at least over the spark plug). Both are preferably implemented in pulses and with time and quantity regulation. In this way, on the one hand, certain disadvantages of known stratified charge concepts are avoided, with the aim of a suitable stratified charge for any  
20 operational point, and also to provide the same with dynamic change. In particular also by means of the adjustability of the turbulence production, this results in efficient possibilities for influencing mixture formation and combustion which can be used dependent upon the operational point (e.g. cold start). Different particularly simple embodiments are proposed.

## Description

This invention relates to the spark-ignition internal combustion machine, which is here also called the Otto engine. On the one hand, a new concept for Otto engines is proposed, and on the other hand, this invention can be used in certain embodiments with existing Otto engines such that the same can be operated with improvements. (The latter can be considered to be advantageous in relation to the applicability of this invention).

Today's Otto engines still produce high raw [= non-combusted?] emissions and are generally operated with efficiency far removed from the optimal level. This is in particular the case for specific operational points, such as e.g. the cold start. This invention is primarily concerned with reducing the raw emissions and/or increasing the degree of efficiency.

In order to reduce emissions, a downstream catalytic converter is often used nowadays. In a particular embodiment of this invention, this type of catalytic converter is also taken into consideration in the concept, with the aim of increasing its efficiency and/or reducing the costs of the same.

As well as this, further secondary advantages result from this invention, which are specified in the text.

The reduction of raw emissions and the increase in the degree of efficiency are achieved according to the invention by the combination of a stratified charge concept with adjustable, efficient turbulence production in the combustion chamber (in particular during combustion).

With a stratified charge, the aim is to be able to form the largest part of the charge so that it has a low level of fuel (lean), and only to make available a sufficiently rich mixture for ignition (and early ignition phase) at the ignition source. It is known that in this way the raw emissions (especially CO and NOx) can be considerably reduced, similarly to a lean engine with a homogeneous

charge [Heywood, pages 37 – 40]. It is also known that in this way, the degree of efficiency can be increased for different reasons, in particular in the partial load range (by diesel-type regulation of the output by means of the quantity of fuel supplied). Furthermore, the type of fuel used ... achieves .... [incomplete sentence in German original] and the tendency towards combustion with pinging (or pinking) can be reduced by the late addition of fuel.

Conventional stratified charge concepts are e.g. the pre-chamber engine or by means of the direct injection of fuel into the combustion chamber. The pre-chamber engine is known to have a jagged combustion chamber and so has increased HC emissions. The direct injection of fuel in order to produce the stratified charge is disadvantageous with frequent load and revolution changes, as during realistic (or actual) operation. It is a further object of this invention to avoid these disadvantages of the previous stratified charge concepts, and to provide an appropriate stratified charge at every operational point and upon changes to the same. Therefore the production of the stratified charge within the framework of this invention is preferably designed to be controllable or adjustable. This is a particular advantage with respect to other types of stratified charge production, such as e.g. by means of specific forms of combustion chamber which are not or not sufficiently adjustable and therefore not sufficiently adaptable to the operational point, but even often strongly dependent upon the same.

It is also an object of this invention to not require any special form of combustion chamber, but in principle to be adaptable to almost any form of combustion chamber. It is a particular advantage that in this way also particularly simple (non-jagged) forms of combustion chamber can be considered, and this can on the one hand reduce costs, and on the other hand reduce HC emissions.

This freedom in relation to the form of combustion chamber used (and the form of the inlet channel etc.) is achieved according to the invention in that the mixture formation process and the combustion process, which are generally

specifically influenced by specific forms of combustion chamber, valves and inlet channel etc., can be widely influenced here via the injection [or forced inflow] of gases. For example, certain known measures for producing turbulence, such as e.g. quench zones, convoluted inlet channels or special piston recesses [piston crown shapes], are dispensed with because by injection, just the desired turbulence can be produced. Measures are also often taken to specifically stimulate certain charge movements (e.g. swirl). In one embodiment of the invention, this can also be achieved by injection in that the injection is applied at an appropriate combustion chamber point in an appropriate direction, and is appropriately timed.

New ground is broken here in the form of a stratified charge concept with two supply components, i.e. in general by far the greatest part of the fuel is supplied to the combustion chamber in the "normal" way, i.e. via the inlet valve or valves, or by injection. The first component, not specified in more detail here, supplies the greater part of the charge, which is generally very lean.

Furthermore, stratified charge concepts as such generally have the disadvantage that the lean greater part of the charge burns more slowly, similar to with lean engines with a homogeneous charge or also with exhaust gas recirculation. In this way, the HC emissions (unburnt hydrocarbons) generally increase, the degree of (thermal) efficiency is negatively effected, and the engine is prone to cyclical performance fluctuations. It is also a further advantage of this invention to be able to solve these problems of stratified charge and lean concepts. A particular requirement for increased burning speed occurs with cold starts and in the warm-up phase.

This is achieved according to the invention by producing turbulence in the combustion chamber (in particular during combustion). It is known that turbulence has the effect of greatly increasing the burning speed, even with lean mixtures or those mixed with exhaust gas.



Turbulence is preferably also produced such as to be adjustable, i.e. not only adjustable in its strength over a wide range, but also specifically at the right time during the working cycle. A considerably stronger turbulence can thus be produced in the combustion chamber, e.g. with a cold start, than during warm operation.

The adjustability of the timing of the turbulence production can be used in addition to increasing the burning speed in order to achieve further advantages: e.g. with the same turbulence production during the intake and/or compression phase, the mixture preparation can be improved, or during the late expansion and/or exhaust phase, the chemical after-reactions in the combustion chamber can be facilitated (and this can serve e.g. to further reduce the HC emissions).

According to the invention, the stratified charge and turbulence production are produced by the direct injection of gases (preferably the same gas) into the combustion chamber. One of the gases which is injected near to the ignition source (generally the spark plug) contains fuel as vapor or in partially still liquid form so that the charge acquires the desired stratification. (As the ignition source, the location – or the locations – is/are indicated here in the combustion chamber where the ignition, e.g. by a spark, is triggered in a controlled manner). Preferably, the gases are injected through one and the same opening which e.g. is to be integrated into a specially modified ignition source. In this way, this method can be adapted to existing Otto engines.

The injection of gas containing fuel directly into the vicinity of the ignition source, at a time which can in principle be freely chosen, also has the advantage with respect to other stratified charge concepts, that the richer part at the ignition source remains concentrated at this place until ignition, i.e. does not substantially disperse, and so the richer part can be reduced to a minimal fraction of the whole charge. The dispersal of the richer part is known to be a problem with many other stratified charge concepts.

The gases are preferably injected in pulses, i.e. during specific sections of time in the course of the working cycle of the Otto engine. The aforementioned adjustability of the timing and quantity of the gases added is implemented e.g. by using electronically controllable magnetic valves.

5

It is known that turbulence in the combustion chamber can be produced very effectively by an injected open jet of gas. In P 44 38 735.0 the same applicant proposes the injection of a gas in order to increase turbulence and charge movement with the cold start of an Otto engine. This type of turbulence production has the advantages with respect to other embodiments (e.g. special  
10 embodiments of the inlet channel, valves, piston shapes) that a) strong turbulence can be produced at the desired time, i.e. generally shortly before or during combustion (which is difficult by means of "external" measures, such as e.g. the aforementioned embodiments of the inlet channel and valves), and that  
15 b) the turbulence can be produced quickly, i.e. in principle from one working cycle to the next, but regulated [or controlled] over a wide range (electronically controlled or regulated). The latter means, as already mentioned, that the turbulence production can thus be adapted to the respective operational point and the change of the same ("dynamic behaviour"), and this is an essential  
20 characteristic.

With Otto engine combustion, NO<sub>x</sub> formation, HC release and the degree of efficiency depend generally largely upon the respective combustion process, in particular the pressures and gas temperatures occurring here dependent upon  
25 the crank angle. In general, with the simple Otto engine, only the ignition time (more seldom variable EGR rate or variable valve control times) is available as a free parameter for adaptation of the combustion process to the input parameters (load, revolutions and also engine temperature, in particular with cold start), which vary over a wide range (the average [or mean] stoichiometry  
30 is often given by the catalytic converters used nowadays). Compromises must therefore often be made between the different emissions and the degree of efficiency. By means of the adjustability of the speed of complete combustion (by means of turbulence) and the local stoichiometry (stratified charge), new

free parameters ("control elements") are produced so that the combustion process can be adapted in detail substantially better to the input parameters. For example, with lean operation, a sufficiently early (complete) combustion (e.g. in order to avoid high HC emissions) is achieved by advancing the ignition timing, with the degree of efficiency decreasing, however, because part of the chemical energy is converted before the top dead center. This can e.g. be avoided by the invention in that the ignition time is not advanced, and sufficiently fast complete combustion is achieved either by increasing turbulence or by shortening the ignition phase by the stratified charge.

10

It is known that a reduced inclination of the engine to combust with pinging (or pinking) e.g. by means of an increased compression ratio can be used to increase the degree of efficiency. The inclination towards combustion with pinging (or pinking) can be reduced according to the invention as follows: The greater part of the charge is made lean more or less, and so it is not at first inclined to produce pinging (or pinking). With the substantially smaller, richer part of the charge, explosive-type combustion can be tolerated under certain circumstances. The degree of turbulence, which can be set here to be variable, has a strong influence upon the tendency to produce pinging (or pinking).

Pinging (or pinking), in particular in the early combustion phase, can also be avoided in that the increase of the degree of turbulence by means of gas injection is only used at the appropriate time during combustion. The adjustability of the degree of turbulence makes it possible to operate the engine in a wide operational range close to the pinging (or pinking) limit, and in this way to also optimize the degree of efficiency.

25

It can also be useful to accelerate in particular the early flame core development in that rich combustion in the early phase is also promoted in a controlled manner by turbulence.

30

Embodiments: A particular advantage of this invention is that two important combustion-relevant parameters, namely turbulence in the combustion chamber and local stoichiometry can be set from the outside by an opening in the spark

plug. In order to produce turbulence during the compression and/or combustion phase, gas with a back pressure of several bar is necessary. (Fuel must also be available with higher pressure in order to make injection in the compression phase possible). When using liquid fuel, in order to produce a substantially
 5 vaporous fuel cloud in its final state (i.e. shortly before ignition) on the spark plug, either fuel vapor is to be extracted from the main mixture creator (carburetor, injection into the suction pipe) – in so far as it is present - or an ancillary mixture creator for supplying the injection is to be provided, or a (miniaturized) decentralized mixture creator is to be realized near to each spark
 10 plug. The latter possibility is advantageous because here, the flow of gas used to produce turbulence can also be used to form the mixture, and so the technical complexity is particularly small. In the simplest case, liquid fuel is supplied to the gas-conveying pipe by means of a T-piece (5) in order to produce turbulence, as shown in **Fig. 1**. The modified spark plug shown in **Fig.**
 15 **1** is used as normal in an Otto engine. (The illustration of a complete Otto engine was dispensed with because there are at first no particular requirements for the form of combustion chamber or other geometries or techniques). Also when using a liquid fuel, the flow of fuel (2) is "carried along" by the flow of gas (1) similar to in the carburetor, atomizes, forms a wall film in the gas-conveying
 20 pipe and evaporates (at least partially) a little further downstream. Further atomization, evaporation and mixing with the gas is achieved by the open jet expansion into the combustion chamber: In particular when using a supersonic jet, high relative speeds occur (in particular in the peripheral ranges of the expansion) which facilitate the mixture formation. In order to further improve the
 25 properties of this "decentralized mixture creator", further characteristics of a simple carburetor [Heywood, page. 282 et seq.] can be given [or applied] to the combination of gas and liquid fuel, as indicated in **Fig. 2**.

The magnetic valves (3) and (4) control the pulse lengths of gas flow (1) for
 30 turbulence production and fuel supply (2); in this embodiment they are important, electronically adjustable control elements on the engine, the role of which has already been described in detail. (The dead volume between the opening of the spark plug to the combustion chamber and the magnetic valves

is to be designed to be as small as possible because otherwise it is known from experience that there is the risk that the ignition will be "blown out" by the compression. Alternatively, in order to avoid this effect, a check valve should be used directly behind the spark plug, i.e. in front of the T piece). As shown in  
 5 **Fig. 1**, realization of this invention is easy in principle, and this is a particular advantage.

As already mentioned, air can be used as injected gas, both for the production of turbulence and for the stratified charge. Alternatively, e.g. the use of exhaust  
 10 gas is also possible, in particular for the production of turbulence. If exhaust gas is also used for conveying the fuel into the combustion chamber, it should be noted that in this way, the exhaust gas content at the spark plug rises at the ignition time, and this has a generally negative effect upon the ignitability of the mixture. Due to the strong mixture of the open jet with the surrounding (lean)  
 15 charge, under certain circumstances an ignitable mixture can however nevertheless be achieved at the spark plug. (It is also possible to use the energy of the hot exhaust gas under high pressure in order to pump the fuel/air mixture). The use of exhaust gas, at least to produce turbulence, is advantageous because in this way, under certain circumstances a compressor  
 20 (or similar) could be omitted for providing sufficient gas back pressure: exhaust gas with high pressure (e.g. 10 bar) can be extracted from the engine during the expansion phase (after largely finished combustion) (e.g. by means of one of the openings which are used for injection). Energy is extracted here from the cylinder during the expansion phase so that the mechanical work produced  
 25 declines. This can be tolerable or even desirable, in particular with a cold start or in the warm-up phase. According to experience, a modified four-stroke engine shows a considerable increase in the degree of efficiency (measured: approximately factor 2) in the warm-up phase due to the (gas) injection, so that under certain circumstances more mechanical work would be released than is  
 30 required. In particular, when using this invention purely as a start-up aid, the use of exhaust gas under high pressure is therefore advantageous for (gas) injection. The following realisations are conceivable with (four-stroke) multi-cylinder engines: In the expansion stroke (e.g. 60 – 900 kW) gas under high

pressure is extracted from a cylinder which is injected into another cylinder which is just in the compression stroke. In this way, the cold start aid with the four-stroke four-cylinder engine would be in a simple form, as illustrated in **Fig. 3**. The respective magnetic valve (4) which is opened is the one between two cylinders which are in the expansion stroke and the compression stroke. (With a six-cylinder four-stroke engine a realization based on the 120° offset between the cylinders is also possible under certain circumstances by an appropriate choice of control times). The magnetic valves (3) enable the temporally defined introduction of fuel vapour, in this case through the spark plugs. The fuel vapour must be made available here under correspondingly high pressure (6).

It is useful to supplement this configuration with a pressure accumulator because in this way a) the timings for the supply and discharge of gas to/from the cylinder could be set independent of one another, b) the cooling of the discharged gas would be better guaranteed (in order to avoid early ignitions during the compression phase), c) cyclical fluctuations would be avoided (with could otherwise arise because the injection of gas is dependent upon the respective combustion process in another cylinder), and d) the availability of gas under high pressure would be guaranteed starting from the first cycle.

**Fig. 4** shows a configuration with a pressure accumulator (7) which otherwise, however, corresponds to the configuration in **Fig. 3**. The magnetic valves (4) shown in **Fig. 4** are respectively opened in the compression and expansion stroke.

**Fig. 5** shows a further configuration which differs from **Fig. 4** in that turbulence is produced and fuel is added by means of the spark plug, as shown above. Here – in so far as liquid fuel is used – the fuel evaporation takes place as explained by means of **Figs. 1 & 2**. Correspondingly, liquid fuel under sufficiently high pressure must be made available here (8).

Elimination of a compressor is also possible in a similar way in that gas under high pressure is extracted from the cylinder late in the compression phase, and said gas is then supplied earlier in the compression phase (or also late in the

intake phase with the four-stroke engine). With respect to the use of exhaust gas for injection, this also has the advantage that the portion of exhaust gas at the spark plug is not increased, so that the production of turbulence can also be implemented without danger by means of the modified spark plug. Configurations such as in **Figs. 5 & 6** (preferably **Fig. 6**) are possible. A configuration without a pressure accumulator (7), similar to in **Fig. 3**, is also possible under certain circumstances: e.g. with the six-cylinder four-stroke engine, the 120° offset in the working cycle of the cylinders can be used as the time difference between supply early in the compression phase and discharge late in the compression phase.

It should also be noted that also by the discharge of gas from the cylinder itself turbulence can be produced in the same.

(Apparently, the free choice for the gas injection timing is limited by these embodiments. It should be noted here, however, that late injection in the compression phase is generally useful so that the turbulence up to combustion has not abated too strongly. The time constants of the turbulence abatement are linked here with the typical diameter of the greatest swirl stimulated because the swirls generally break down in a cascade. It is therefore useful to stimulate swirl of specific size, i.e. in the extreme case, collective charge movements. It is known to increase the size of the swirl e.g. by means of the size of the injection opening).

According to the invention, a catalytic converter which may be provided downstream on the Otto engine for the after-treatment of exhaust gas is incorporated into the concept as follows: A 3-way catalytic converter can be dispensed with under certain circumstances due to the considerably (e.g. factor 10) reduced NOx emissions because of an on average very lean combustion (e.g.  $\lambda \geq 1.6$ ). Instead of this, e.g. a cheaper oxidation catalytic converter is to be used in order to eliminate the remaining HC and CO emissions.

If the NO<sub>x</sub> emissions are to be reduced further, by using a current 3-way catalytic converter, a sufficient quantity of CO must be released by the engine. A "artificially" produced increase in the CO raw emissions can e.g. be implemented in that a certain fraction of the working cycles are operated with rich(er) mixtures because the CO production is predominantly a question of stoichiometry. (Alternatively, with a multi-cylinder engine, one of the cylinders could be operated with a richer mixture. In order to avoid cyclical performance fluctuations due to these stoichiometry differences between cycles and cylinders, these could be compensated by adapting the ignition time and/or turbulence production so that the same mechanical work is respectively released). Overall, the desired equilibrium between NO and CO raw emissions could thus be achieved again for operating a 3-way catalytic converter, but on a far lower level in comparison to the currently conventional operation at  $\lambda = 1.0$ . Due to the lower level of raw emissions, the 3-way catalytic converter could be smaller in structure, by means of which costs could be lowered.

A particular problem nowadays is the fast heating up of the catalytic converter with a cold start. For this, within the framework of this invention, the excess work of the engine released with the cold start and the warm-up phase could be used due to a considerably improved degree of efficiency (measured at approximately factor 2) and the substantially higher cylinder pressure level in the expansion stroke. The mechanical excess work of the engine being released could be supplied on the one hand electrically (e.g. by "backwards" operation of the starter motor) to the catalytic converter for fast heat-up. On the other hand, also heating the catalytic converter by means of hot exhaust gas is conceivable, said gas being extracted from the cylinders during the expansion stroke, as already described above. This measure could be implemented coupled with the extraction of hot exhaust gas, described above. This would mean, e.g. that part of the gas would be conveyed to the aforementioned pressure reservoir (7) and another part to the catalytic converter, or that the gas would be conveyed by the catalytic converter to the pressure reservoir (7).



Sources of information: [Heywood] Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1988.

## Patent Claims

1. A method for improving the degree of efficiency and the emission performance of an internal combustion engine, **characterized in that by**  
5 injecting a gas or a mixture of gas and fuel into the combustion chamber, both a stratified charge and turbulence of the fuel mixture, increased with respect to normal operation, are produced.
2. The method according to Claim 1, characterized in that the gases are  
10 injected in pulses.
3. The method according to Claim 1, characterized in that the gases are injected, controlled or regulated dependent upon the operational point of the engine.  
15
4. The method according to Claim 1, characterized in that the gas producing turbulence and the gas containing fuel is injected into the combustion chamber through the same opening near to the ignition source.
- 20 5. The method according to either or both of Claims 1 – 2, characterized in that the opening(s) for injecting the gases is (are) integrated into the ignition source (e.g. spark plug).
6. The method according to Claim 1, characterized in that air/and or exhaust  
25 gas and/or fuel vapour is used as a gas producing turbulence and/or as a gas containing fuel.
7. The method according to Claim 1, characterized in that the gas injected in order to produce turbulence also (partially) contains fuel, and so is also  
30 used to produce the stratified charge.
8. The method according to Claim 1, characterized in that the gas injected to produce turbulence is also (partially) used to evaporate a liquid fuel, and

so also to produce the stratified charge, in that e.g. the liquid fuel is supplied to the gas flow (similar to in the carburettor) and/or the liquid fuel is evaporated into the combustion chamber by means of the expansion of a gas/fuel mixture.

5

9. The method according to Claim 1, characterized in that the gas used to produce turbulence and/or to supply fuel was previously taken [or extracted] under high pressure from the same, or with multi-cylinder engines from another cylinder during the compression or expansion phase.

10

10. The method according to Claims 1 and 9, characterized in that the gas taken from the same or from another cylinder in the compression or expansion phase is intermediately (or temporarily) stored in a pressure accumulator (7).

15

11. The method according to Claims 1 and 9, characterized in that one of the openings (and components) for the injection of gas are used for extracting gas from the same or another cylinder.

20

12. The method according to Claim 1, characterized in that with the cold start/the warm-up phase of the engine, more high-pressure work is produced than is required in the form of mechanical work, and the excess work is used for the fast warm-up of the downstream catalytic converter.

25

13. The method according to Claims 1 and 12, characterized in that part of the high-pressure work of the engine is supplied, by means of a generator, electrically or in the form of hot gas which was extracted from the combustion chamber in the expansion phase (e.g. by means of one of the openings which is used to inject the gases), to the catalytic converter for fast warm-up

30

14. The method according to Claims 1 and 8, characterized in that by the appropriate setting of stoichiometry, turbulence and ignition timing and the

different operation of a certain fraction of the working cycles made possible by this, and/or with multi-cylinder engines of the cylinders, certain components of the raw emissions are released in the appropriate ratio for a specific catalytic converter, in particular NOx in relation to CO.

5

5 pages of drawings attached

**Translator's note:**

Please note that in column 1 of the description (lines 43 and 44) there is a sentence which simply does not make sense; it appears as though something  
5 has been omitted. The places where the omissions are believed to be have been marked with ... in the English version.

Please note also that in column 2, lines 25 – 33, the text repeats itself. For obvious reasons, this repetition has been omitted in the English version.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**